Estrategias de Enseñanza-Aprendizaje en la Física basadas en Investigación

Genaro Zavala

Tecnológico de Monterrey, Monterrey, México

Universidad Andrés Bello, Santiago, Chile

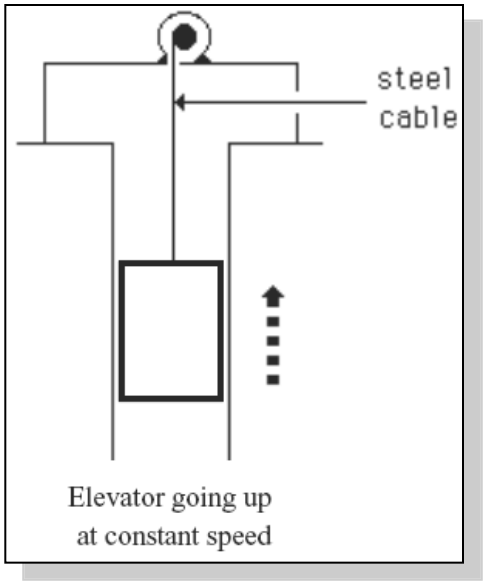
Educación de la Física

¿HAY UN PROBLEMA?

Bajo Desempeño

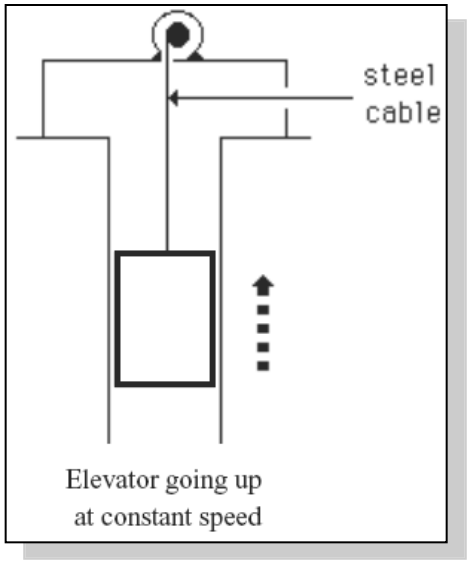
- Los exámenes de PISA han demostrado un pobre desempeño en la mayor parte del mundo.
- Estudios universitarios muestran malos resultados.
- Los profesores individualmente ven el problema.

Dificultades conceptuales de estudiantes



Un elevador es jalado hacia arriba a velocidad constante por un cable como se muestra. Despreciando cualquier fuerza de fricción ¿es la fuerza que ejerce el cable mayor, menor o igual al peso del elevador?

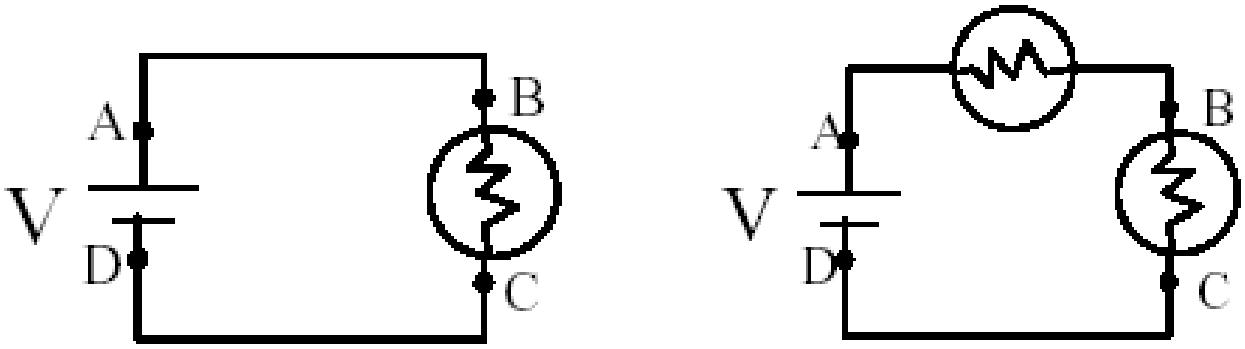
Dificultades conceptuales de estudiantes



Un elevador es jalado hacia arriba a velocidad constante por un cable como se muestra. Despreciando cualquier fuerza de fricción ¿es la fuerza que ejerce el cable mayor, menor o igual al peso del elevador?

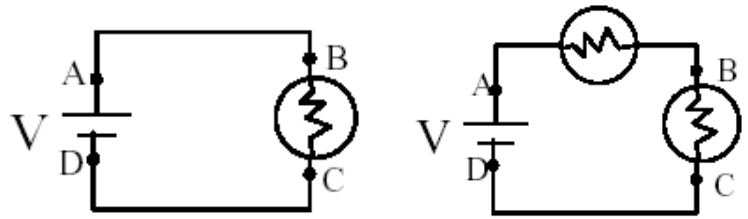
- Mayor: 55%
- Igual: 35%
- Menor: 10%

Dificultades conceptuales de estudiantes



En los circuitos mostrados las baterías son idénticas y las ampolletas son idénticas. ¿Es la corriente que pasa por A en el circuito con dos ampolletas mayor, menor o igual a la corriente que pasa por A en el circuito de una ampolleta?

Dificultades conceptuales de estudiantes



En los circuitos mostrados las baterías son idénticas y las ampolletas son idénticas. ¿Es la corriente que pasa por A en el circuito con dos ampolletas mayor, menor o igual a la corriente que pasa por A en el circuito de una ampolleta?

- Mayor: 12%
- Igual: 48%
- Menor: 40%

¡EXISTE UN PROBLEMA!

Un poco de historia

- Estudio sobre el entendimiento conceptual de Lillian McDermott y Laurence Viennot
- Otros grupos empezaron a trabajar en PER como:
  - Dean Zollman en Kansas State University
  - Bob Fuller en University of Nebraska
  - David Hestenes en Arizona State University
  - Fred Reif en University of California-Berkeley
- Grupos importantes en la actualidad
  - University of Washington
  - University of Maryland
  - University of Maine
  - Ohio State University
  - Kansas State University

¿A qué se dedica la investigación en educación de la Física?

Una de sus principales actividades es la de disminuir la brecha entre lo que se enseña y lo que se aprende.

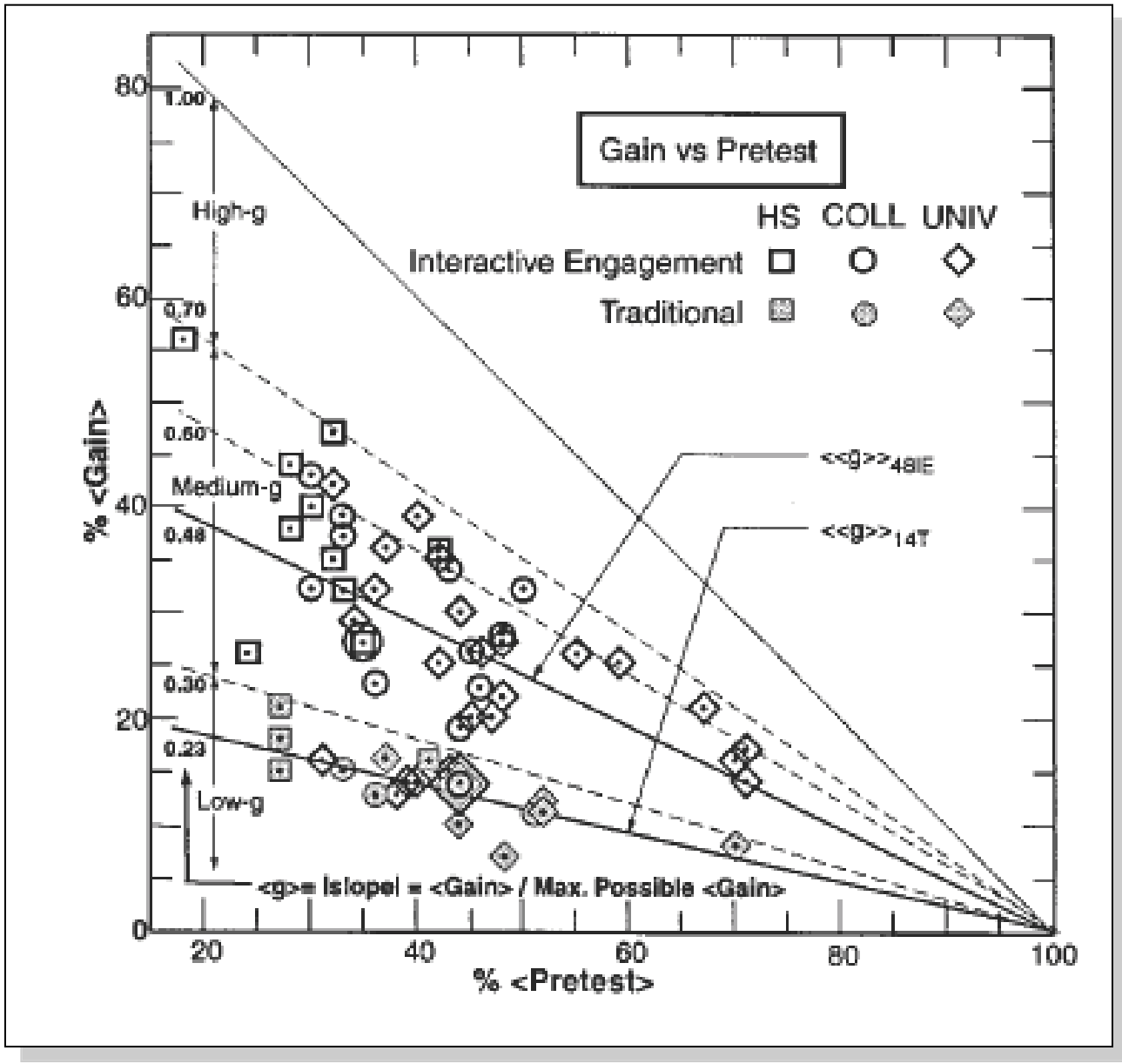
Áreas de estudio

- Estudios de entendimiento conceptual
- Desarrollo de estrategias basadas en investigación
- Desarrollo de herramientas de evaluación
- Estudios de actitudes, razonamiento y creencias
- Ambientes de aprendizaje

Áreas de estudio

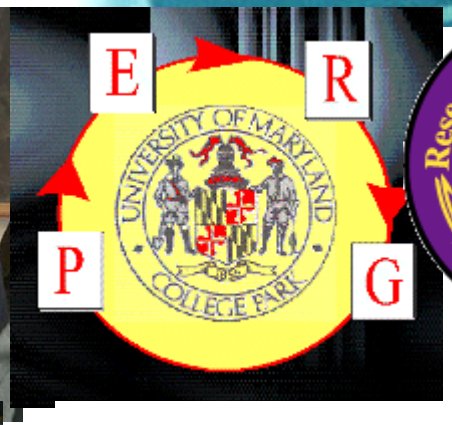
- Estudios de entendimiento conceptual
- Desarrollo de estrategias basadas en investigación
- Desarrollo de herramientas de evaluación
- Estudios de actitudes, razonamiento y creencias
- Ambientes de aprendizaje

ESTRATEGIAS



Hake, R., *Am. J. Phys*., **66**, 64 (1998)

Estrategias de aprendizaje activo



Desarrollo de estrategias de aprendizaje activo

- Tutoriales en Física. University of Washington
- Física a Partir del Cuestionamiento. University of Washington
- Talleres de Física. Dickinson College
- El Estudio de Física. Rensselaer Institute of Technology
- Sistema Activo de Aprendizaje de la Física. Ohio State University

Desarrollo de estrategias de aprendizaje activo

- Instrucción “Peer”. Harvard University.
- Demostraciones Interactivas. University of Oregon.
- Solución de Problemas en Forma Colaborativa. University of Minnesota.
- Tutoriales Matemáticos. University of Maryland.
- Modelos en Física. Universidad de Arizona

Estrategias en esta presentación

- Instrucción por pares
- Actividades para hacer sentido
- Problemas ricos en contexto
- Actividades tutoriales
- Resolución de problemas

ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA

Instrucción por pares

Eric Mazur (1997). *Peer Instruction: A User's Manual* . Upper Saddle River, NJ: Prentice–Hall.

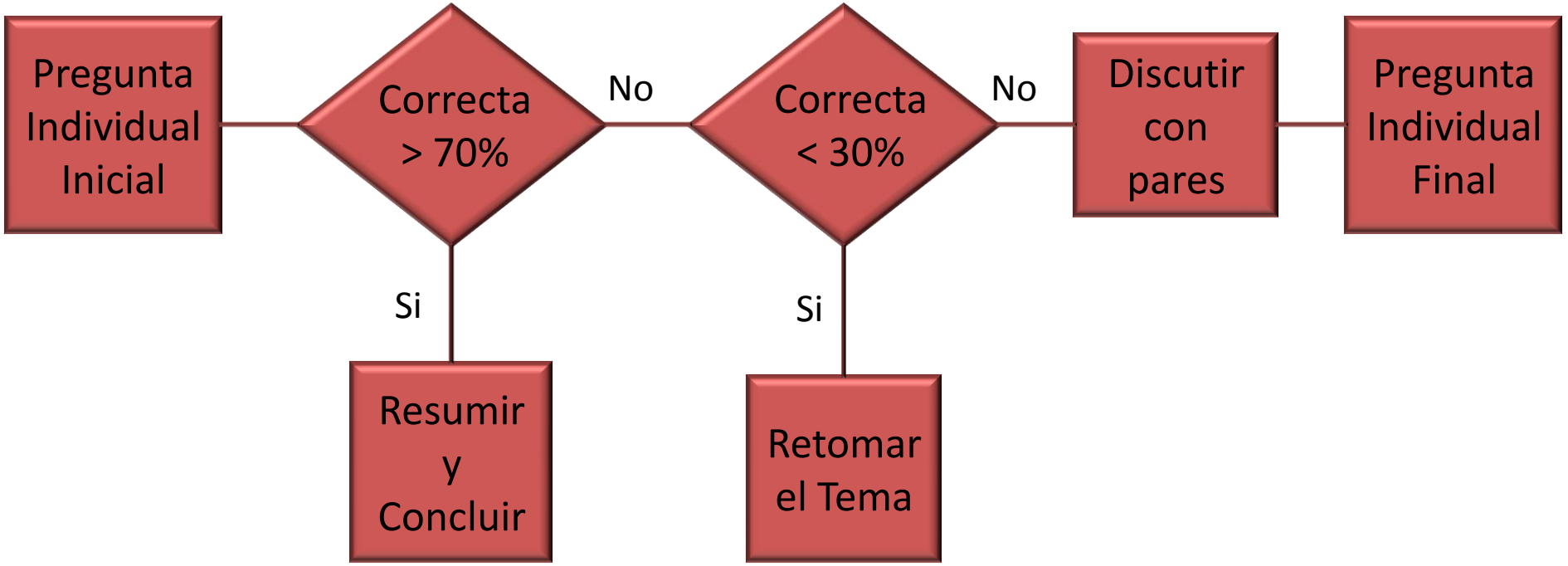
Instrucción por Pares

- Se necesitan preguntas conceptuales de opción múltiple
- Los alumnos trabajan en forma colaborativa en pares
- Hay una discusión entre pares donde un alumno(a) tiene que convencer a su compañero(a) de su respuesta
- Puede usarse tecnología, tarjetas o hasta las manos para votar

Instrucción Por Pares

- El instructor presenta preguntas construidas cuidadosamente para involucrar las dificultades conceptuales (1 minuto).
- Se da un periodo pequeño de tiempo para que cada estudiante considere el problema y pueda dar una respuesta (1 minuto).
- Se registran las respuestas individuales (1 minuto).
- Si es necesario, cada estudiante discute sus respuestas con el compañero de a lado o con un grupo de compañeros y trata de convencerlos de que su respuesta es correcta (1-2 minuto).
- Se registran las respuestas individuales luego de la discusión.
- Se señala la respuesta correcta y se hace una retroalimentación para clarificar dudas.

Flujo de una Pregunta



Dos premisas

- El estudiante que responda la respuesta correcta tendrá mejores argumentos para convencer al estudiante que responda una respuesta incorrecta.
- El estudiante que entiende el concepto acaba de pasar por el proceso de aprendizaje por lo que sabrá cuáles son las problemáticas del compañero.
  Para el profesor los conceptos son fáciles de entender y muchas ocasiones no sabe por qué proceso están pasando sus alumnos.

Ventajas de la Instrucción por Pares

- El estudiante lleva a cabo un proceso de construcción de los conceptos, partiendo de su intuición y su experiencia.
- El estudiante tiene un rol activo.
- El instructor puede saber el estado en que se encuentra el grupo.
- El método contribuye a la homogeneización del conocimiento.

Desventajas de la Instrucción por Pares

- Depende enormemente de las preguntas conceptuales.
- Puede existir dificultades para registrar las respuestas.
- La resistencia de algunos alumnos.

Práctica de Instrucción por pares

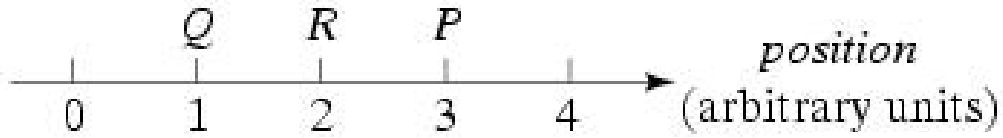
Tienes una pelota en tu mano a cierta altura y la dejas caer, ¿cuál es la velocidad inicial de la pelota?

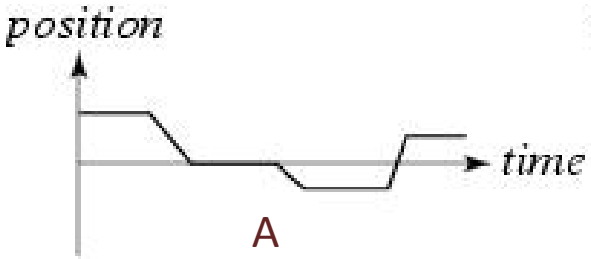
A. Velocidad hacia arriba
B. Velocidad cero
C. Velocidad hacia abajo

Un objeto de mueve desde el punto *A* al punto *B*. ¿Cómo es el **desplazamiento** del objeto con respecto a la **distancia** que recorre?

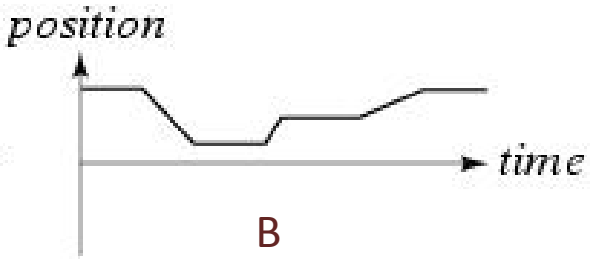
A. Mayor o igual
B. Siempre mayor
C. Siempre igual
D. Menor o igual
E. Siempre menor

Una persona está inicialmente en *P* y se queda ahí por un momento. Posteriormente se mueve a *Q* y se queda ahí por un tiempo. Después se mueve rápidamente a *R* y se queda ahí por otro intervalo. Por último se regresa a *P* lentamente. ¿Cuál de las siguientes gráficas mejor representa el movimiento?

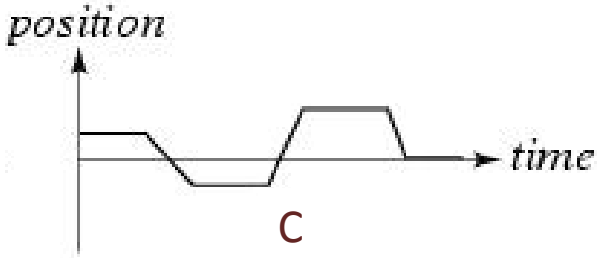




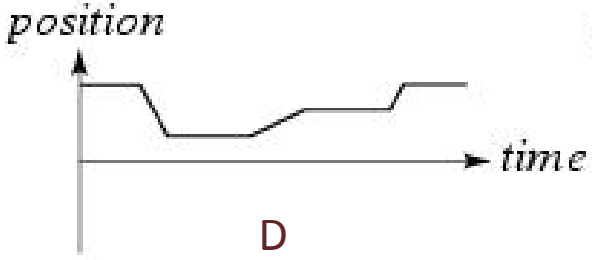
A



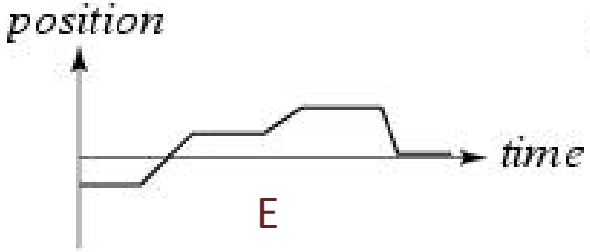
B



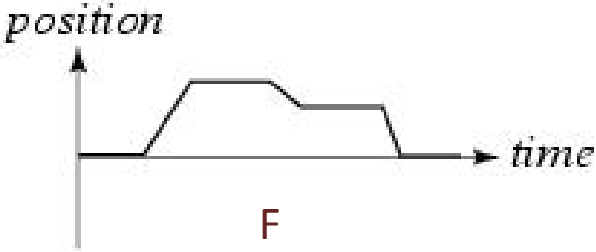
C



D



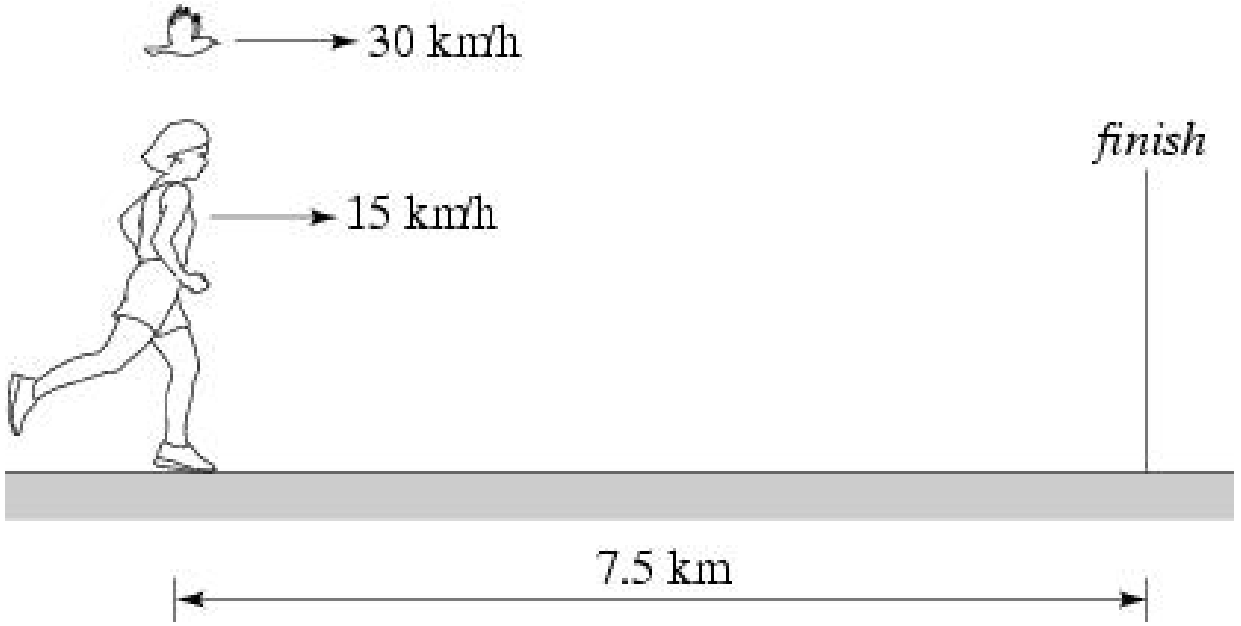
E



F

En un maratón la corredora va a una velocidad constante de 15 km/h. Cuando la corredora está a 7.5 km de la meta, un pájaro empieza a volar a 30 km/h hacia la meta. Cuando llega a la meta, gira y vuela con la misma velocidad hacia la corredora. Cuando llega con la corredora, da la media vuelta y vuela hacia la meta y así sucesivamente hasta que la corredora llega a la meta. ¿Cuántos kilómetros vuela el pájaro?

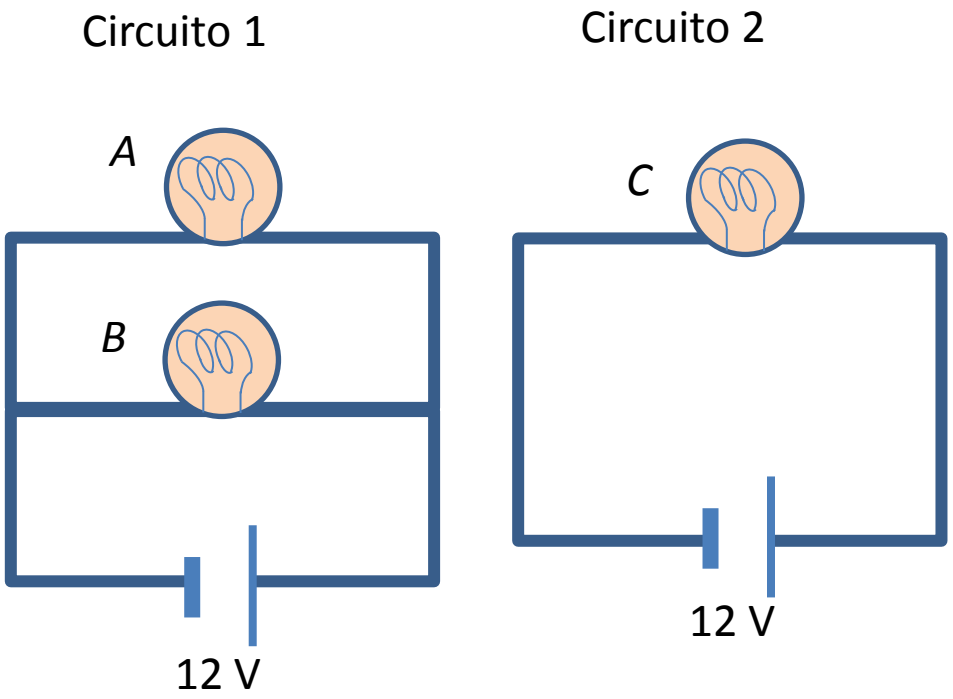
A. 10 km
B. 15 km
C. 20 km
D. 30 km



Las tres ampolletas en la figura son idénticas y las baterías son idénticas

Ordena el brillo de las ampolletas

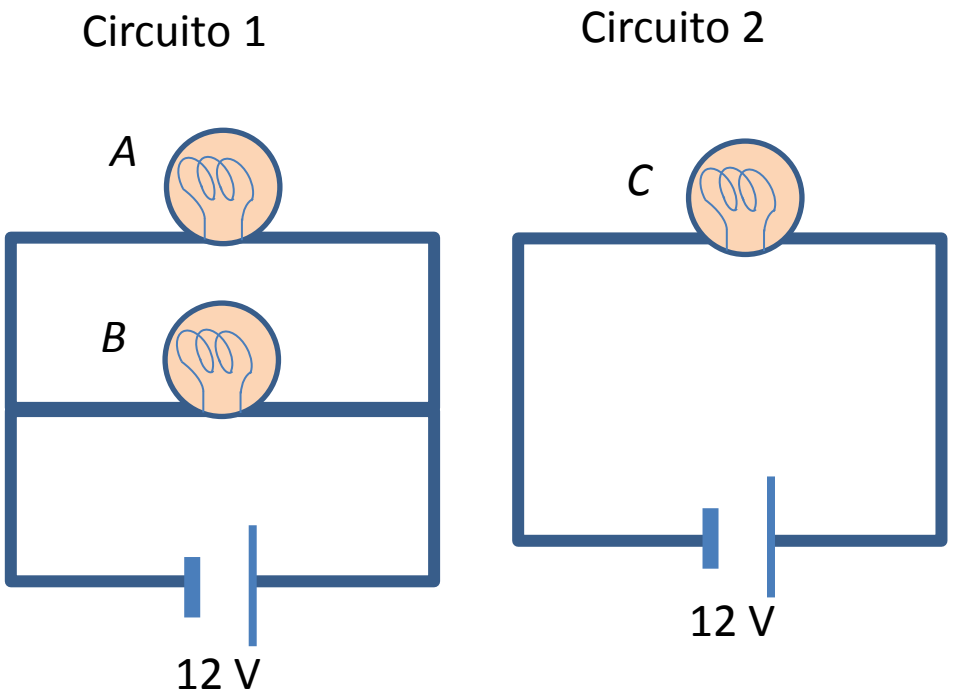
A) $B_A = B_B = B_C$
B) $B_C > B_B > B_A$
C) $B_A = B_B > B_C$
D) $B_C > B_A = B_B$



Las tres ampolletas en la figura son idénticos y las baterías son idénticas

¿En la batería de qué circuito la corriente es mayor?

A) Circuito 1
B) Circuito 2
C) La corriente es la misma



ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA

Actividades para hacer sentido

Hieggelke, C. J., Maloney, D. P., Kanim, S. E., O'Kuma, T. L. (2014). Sensemaking tasks for introductory physics. Glenview, IL: Pearson.

Lee el siguiente párrafo y contesta las preguntas

Es muy importante que aprendas sobre traxolina. Traxolina es una nueva forma de zionter. Es monotelada en Ceristanna. Los ceristannianos gristerlan cantidades abundantes de feviones y entonces los bracterian en traxolina cuasilada. Traxolina bien puede ser uno de nuestros más nealuzes luquizados en el futuro por nuestra leselida de zionter*.

- ¿Qué es traxolina?
- ¿Dónde se monotela la traxolina?
- ¿Cómo se obtiene la traxolina cuasilada?
- ¿Por qué es la traxolina importante?

*Escrita originalmente en inglés por Judith Lanier, Michigan State University.

Problema

Variables **Incógnita**

v s p t

g a

+

Ecuaciones

$$v^2 = v_o^2 + 2as$$
$$p_f = p_i$$
$$v = v_0 - gt$$

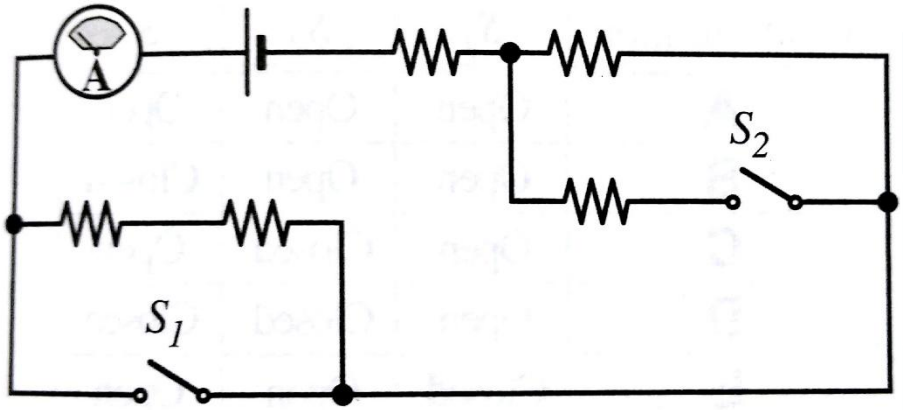
¡Solución!

Actividades para hacer sentido

- Promueven hacer sentido
- Desalientan el uso de fórmulas
- Buscan promover un entendimiento conceptual en los estudiantes
- Empoderan a los estudiantes en la toma de decisiones
- Generan oportunidad de hacer conexiones de las matemáticas con conceptos físicos

Ejemplos de actividades para hacer sentido

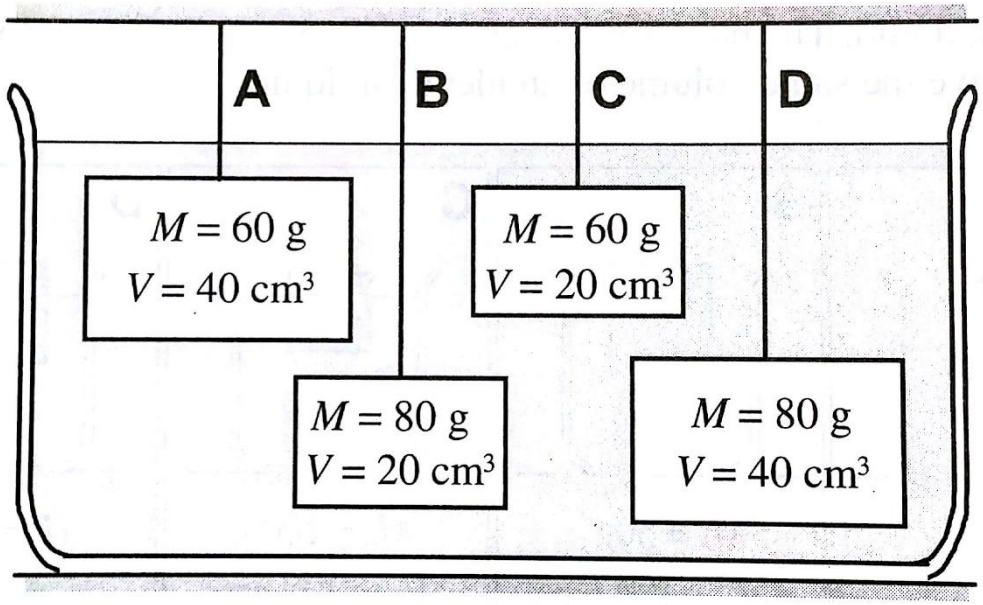
El circuito contiene una batería, dos interruptores, cinco resistencias idénticas y un amperímetro. Cuatro posibles configuraciones de los interruptores se muestran en la tabla.



Configuración	Interruptor S_1	Interruptor S_2
A	Abierto	Abierto
B	Abierto	Cerrado
C	Cerrado	Abierto
D	Cerrado	Cerrado

Ordena de mayor a menor la lectura del amperímetro de las cuatro configuraciones.
Explica tu razonamiento.

Cuatro bloques están suspendidos de cuerdas en el agua. Los bloques A y C están a la misma profundidad. Los bloques B y D están a la misma profundidad pero diferente de A y C.



Ordena de mayor a menor las tensiones de las cuerdas. **Explica tu razonamiento.**

Ejercicio de superposición y distribución, comparación

En los casos presentados en la Figura 1 tome en cuenta que las cargas puntuales +Q (**caso B**) y la carga puntual +2Q (**caso C**) están fijas. De igual forma, las dos varillas cargadas (**caso A y B**) se encuentran inmóviles.

En el caso A: Una varilla de material aislante posee una carga de +2Q distribuida uniformemente. La varilla tiene una longitud *x*.

En el caso D: Una varilla de material aislante posee una carga de +2Q distribuida uniformemente. La varilla es un arco de radio y.

Instrucciones: Ordena de mayor a menor la magnitud del campo eléctrico encontrada en cada punto (**X**) del espacio. Justifica tu razonamiento.

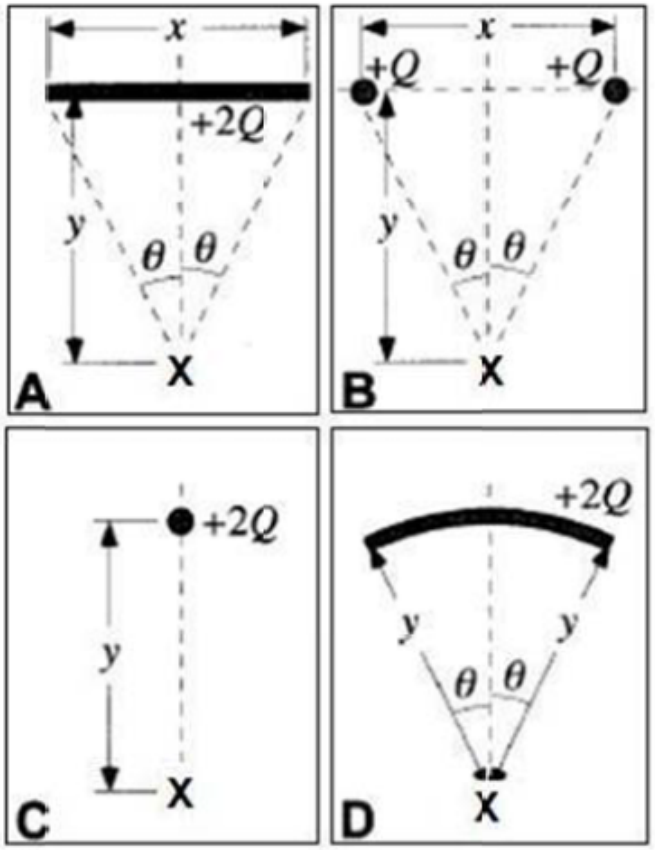


Figura 1.

ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA

Problemas ricos en contexto

Physics Education Research and Development Group, University of Minnesota.

Problemas ricos en contexto

A través de varios años de evaluación de grupos de aprendizaje colaborativo se ha visto que para que los grupos funcionen correctamente, los problemas necesitan varias características:

- Ser lo suficientemente difícil para que un solo estudiante no pueda resolverlo, pero no tan difícil que un grupo no pueda resolverlo.
- Deben estructurarse para que los grupos puedan tomar decisiones sobre cómo proceder con la solución.
- Deben ser relevantes para la vida de los estudiantes.
- No pueden depender de que los estudiantes conozcan un truco.
- No pueden ser matemáticamente tediosos.

Problema rico en contexto

Estás planeando una fiesta de cumpleaños para tu polola(o) y necesitas hacer al menos 4 galones de Zuko de frambuesa, que te gustaría que se enfriara a 0°C antes de que comience la fiesta.

Por desgracia, tu refrigerador ya está tan lleno de cosas y sabes que no habrá espacio para el jugo. Así que, con un repentino destello de iluminación, decides comenzar con 4 galones de agua del grifo más fría que puedes conseguir, a 10°C, y luego enfriarla con un trozo de 1 litro de hielo que ya tienes en tu congelador. El manual del propietario para tu refrigerador establece que cuando el ajuste del congelador está en lo alto, la temperatura es de -20°C. **¿Funcionará tu plan? Menciona claramente las suposiciones que hagas.**

Debido a que los padres se preocupan de que los niños están aprendiendo la ciencia "equivocada" de la televisión, se te ha pedido que seas un asesor técnico de una serie de dibujos animados de ciencia ficción en la mañana del sábado. En la trama, un criminal vicioso (Ruperto) se escapa de una prisión de la estación espacial. La prisión se encuentra entre las galaxias lejos de cualquier estrella. Ruperto roba una pequeña nave espacial y despega para reunirse con sus secuaces en algún lugar en el espacio. La nave robada acelera en línea recta en su máxima aceleración posible de 30 (m/s^2). Después de 10 minutos todo el combustible se quema y ya no puede acelerar. Mientras tanto, el héroe (Capitán Pérez) se entera de la fuga mientras come con la hermosa hija del alcalde de la estación (Virginia). Por supuesto que de inmediato (tan pronto como termina el postre) se va corriendo a recapturar a Ruperto. Se da a la persecución en una nave idéntica, que tiene una aceleración máxima idéntica, yendo en una dirección idéntica.
Desafortunadamente, Ruperto tiene una ventaja de 30 minutos. Sin embargo, para suerte del Capitán Pérez, la nave de Ruperto no empezó con una carga completa de combustible. Con la carga completa de combustible, el Capitán Pérez puede mantener una aceleración máxima durante 15 minutos. Según la trama, el Capitán Pérez atrapa a Ruperto. Tu trabajo es analizar la trama y decir si efectivamente lo atrapa o no. Si es así, a qué distancia de la estación lo hace y a qué tiempo desde que el Capitán sale. Si no es posible atraparlo, tienes que proponer una trama en que sí lo atrapa.

ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA

Tutoriales

McDermott, L.C. y Shaffer, P.S. (2001). *Tutoriales para Física Introductoria.* Buenos Aires: Prentice Hall.

Desarrollo de *Tutoriales*

- Los estudiantes tienen *dificultades específicas prevalentes y persistentes* con los conceptos básicos en física que no son dirigidos con instrucción tradicional.
- Los estudiantes necesitan una oportunidad de *trabajar activamente en la construcción de un entendimiento conceptual* del tema que se integra al formato de aprendizaje estándar.
- Los materiales de instrucción que pretenden ayudar a los estudiantes a construir el conocimiento necesitan *tomar en cuenta las dificultades comunes* que se han identificado con investigación.
- Una estrategia de *"evocar, enfrentar, resolver"* parece funcionar para ayudar a los estudiantes a vencer dificultades comunes.

Tutoriales en Física Introductoria

(Physics Education Group, UW)

Promoviendo el compromiso intelectual de los estudiantes

El énfasis es en:

- Desarrollar entendimiento conceptual
- Orientar dificultades específicas de los estudiantes
- Fortalecer las habilidades de razonamiento de los estudiantes
- Relacionar formalismo con situaciones reales

El énfasis *no* es en:

- Resolver problemas de texto estándar (cuantitavivos)

Tutoriales

Pre-test

- Típicamente después de la exposición del tema, pero antes del *Tutorial*
- Corto (10 min) escrito o en línea

Taller Tutorial

- Los estudiantes trabajan en equipos de 3
- Los instructores guían a los estudiantes con preguntas

Tarea de Tutorial

- Recibida y calificada (en parte); contribuye a la calificación de los estudiantes

Preguntas de reconocimiento

Junta semanal de capacitación a instructores

Tutoriales

d) Usando el método del paralelogramo, suma los pares de vectores siguientes.

Par 1

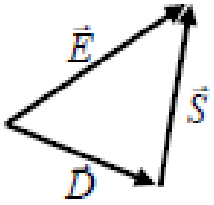
Par 2

e) ¿Es el ángulo entre el vector suma y uno de los vectores que se suman exactamente la mitad del ángulo entre los vectores que se suman en los pares de vectores del inciso anterior?

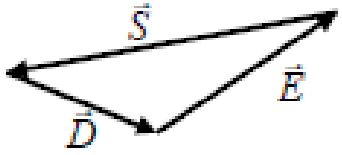
f) Menciona cómo tendrían que ser los vectores para que el ángulo entre el vector suma y uno de los vectores sumandos sea exactamente la mitad del ángulo entre los vectores sumando.

g) Observa el siguiente diálogo entre estudiantes.

Estudiante 1: "*en el método del triángulo sólo tengo que obtener un triángulo para encontrar el vector suma* $\vec{S} = \vec{D} + \vec{E}$ *de acuerdo a la siguiente figura:*"



Estudiante 2: "*no estoy de acuerdo. En el método del triángulo los vectores no pueden iniciar en el mismo punto, el segundo se tiene que trasladar al final del primero de acuerdo a la siguiente figura*":



¿Estás de acuerdo con alguno de los estudiantes? Explica.

ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA

Resolución de Problemas

Diseño de un problema

Para que un problema del final de capítulo de un libro de texto pueda funcionar, debemos modificarlo para guiar al estudiante a través del razonamiento y la reflexión para que llegue a la respuesta por medio de trabajo colaborativo, **andamiaje cognitivo en la instrucción**. Hay dos cosas importantes que debe tener un problema de este tipo:

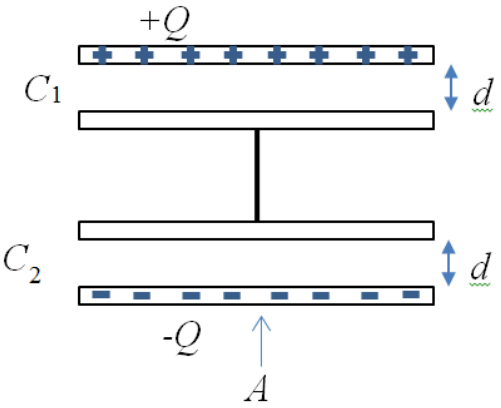
- Diseñar pasos en donde se le guíe al estudiante en cada etapa del problema
- Crear momentos de reflexión, i.e., preguntar por el razonamiento

Resolución de problemas

- Se necesitan las actividades de resolución de problemas que puede ser un problema rico en contexto o un problema de final de capítulo pero modificado
- Trabajo colaborativo: los alumnos discuten la solución de problemas en grupo
- En las primeras puede necesitarse equipo y en las segundas no
- Estrategia muy efectiva y puede ser diseñada para que el alumno se motive

Resolución de problemas

1. Dos capacitores de placas paralelas de área A y distancia entre las placas de d se colocan en serie como se muestra en la figura. Se coloca una carga $+Q$ en la placa superior del capacitor de arriba y una carga $-Q$ en la placa inferior del capacitor de abajo y posteriormente se **aíslan**.

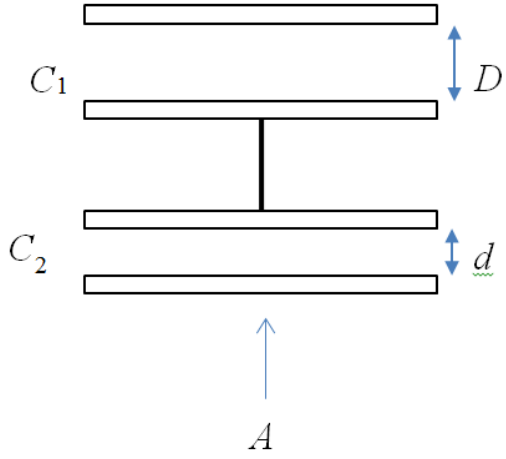


a) ¿Cuánta carga se deposita en la placa inferior del capacitor de arriba y cuánta carga en la placa superior del capacitor de abajo? Explica.

b) Calcula la diferencia de potencial de cada capacitor en función de las cantidades dadas: Q, d y A.

c) Calcula la energía de cada capacitor en función de las cantidades dadas: Q, d y A.

Manteniendo el sistema **aislado** y con la carga de la parte anterior, se incrementa la distancia entre las placas del capacitor de arriba como se muestra en la figura.

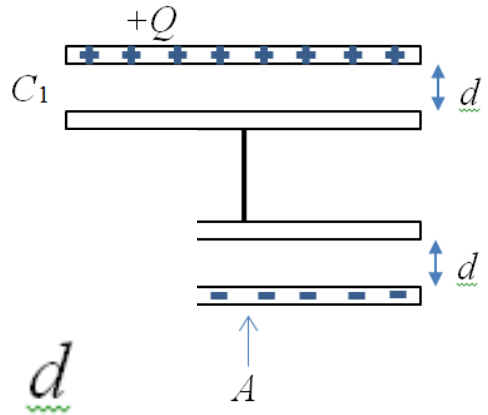


d) ¿Aumenta, disminuye o se mantiene igual la carga en cada capacitor? Explica.

e) ¿Aumenta, disminuye o se mantiene igual la diferencia de potencial de cada capacitor? Explica.

f) ¿Aumenta, disminuye o se mantiene igual la energía de cada capacitor? Explica.

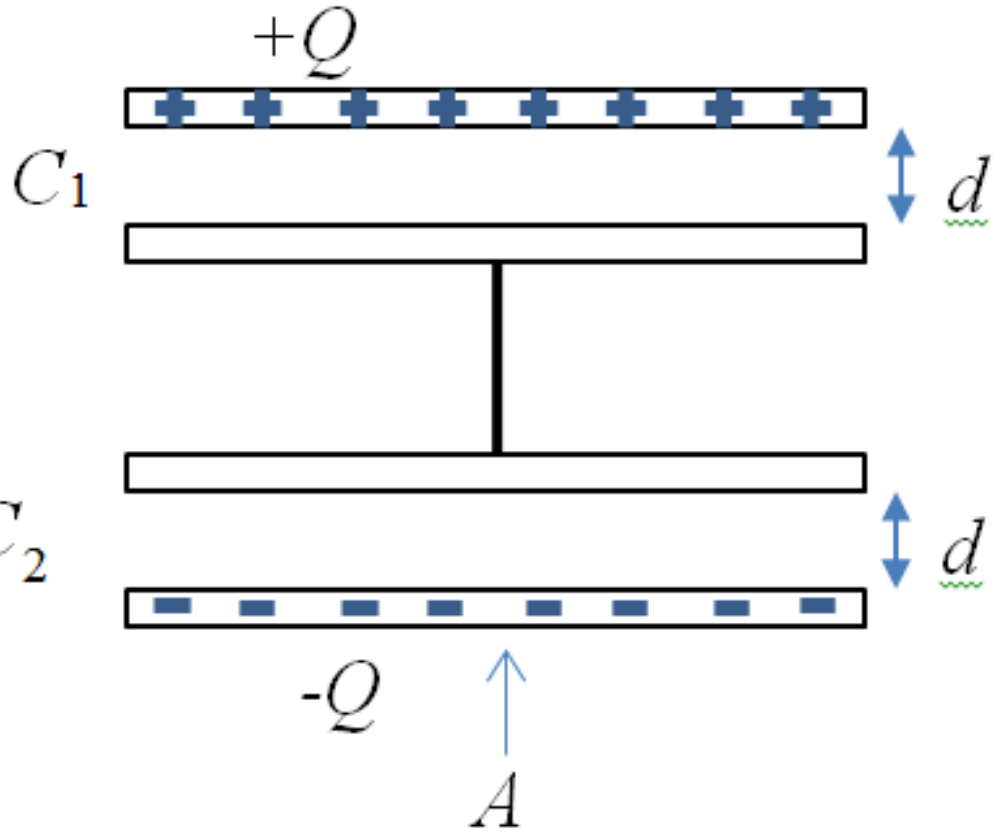
1. Dos capacitores de placas paralelas de área A y distancia entre las placas de d se colocan en serie como se muestra en la figura. Se coloca una carga $+Q$ en la placa superior del capacitor de arriba y una carga $-Q$ en la placa inferior del capacitor de abajo y posteriormente se **aíslan**.



a) ¿Cuánta carga se
cuánta carga en l

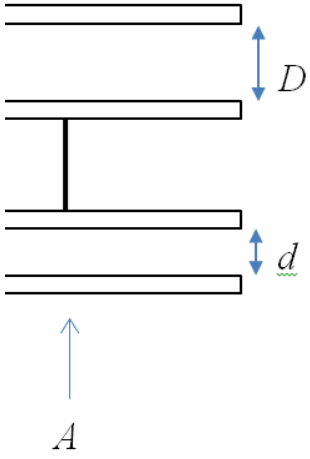
b) Calcula la difere
cantidades dadas

c) Calcula la energí



Manteniendo el sistema
de arriba como se muestr

s placas del capacitor

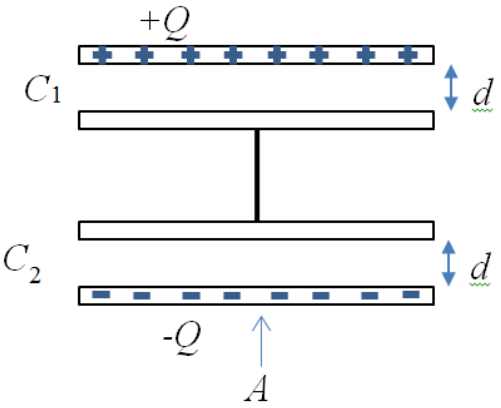


d) ¿Aumenta, dism
Explica.

e) ¿Aumenta, dism
cada capacitor? l

f) ¿Aumenta, disminuye o se mantiene igual la energía de cada capacitor? Explica.

1. Dos capacitores de placas paralelas de área A y distancia entre las placas de d se colocan en serie como se muestra en la figura. Se coloca una carga $+Q$ en la placa superior del capacitor de arriba y una carga $-Q$ en la placa inferior del capacitor de abajo y posteriormente se **aíslan**.

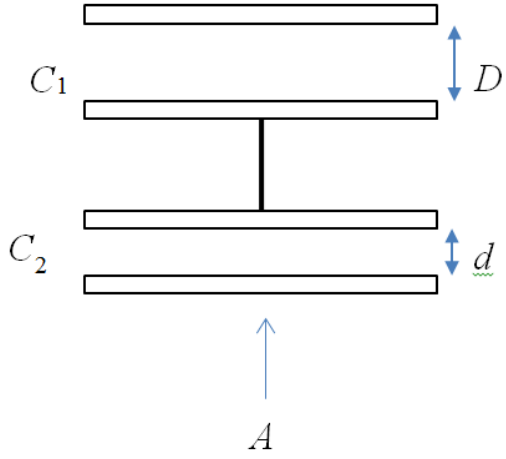


a) ¿Cuánta carga se deposita en la placa inferior del capacitor de arriba y cuánta carga en la placa superior del capacitor de abajo? Explica.

b) Calcula la diferencia de potencial de cada capacitor en función de las cantidades dadas: Q, d y A.

c) Calcula la energía de cada capacitor en función de las cantidades dadas: Q, d y A.

Manteniendo el sistema **aislado** y con la carga de la parte anterior, se incrementa la distancia entre las placas del capacitor de arriba como se muestra en la figura.

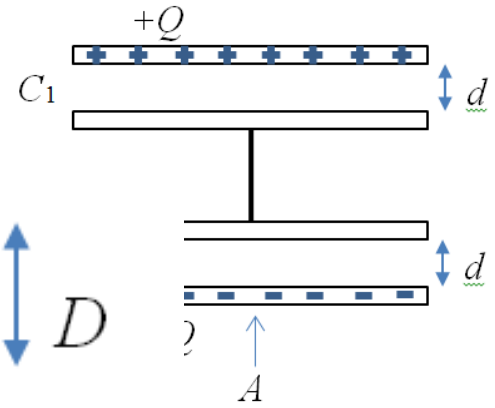


d) ¿Aumenta, disminuye o se mantiene igual la carga en cada capacitor? Explica.

e) ¿Aumenta, disminuye o se mantiene igual la diferencia de potencial de cada capacitor? Explica.

f) ¿Aumenta, disminuye o se mantiene igual la energía de cada capacitor? Explica.

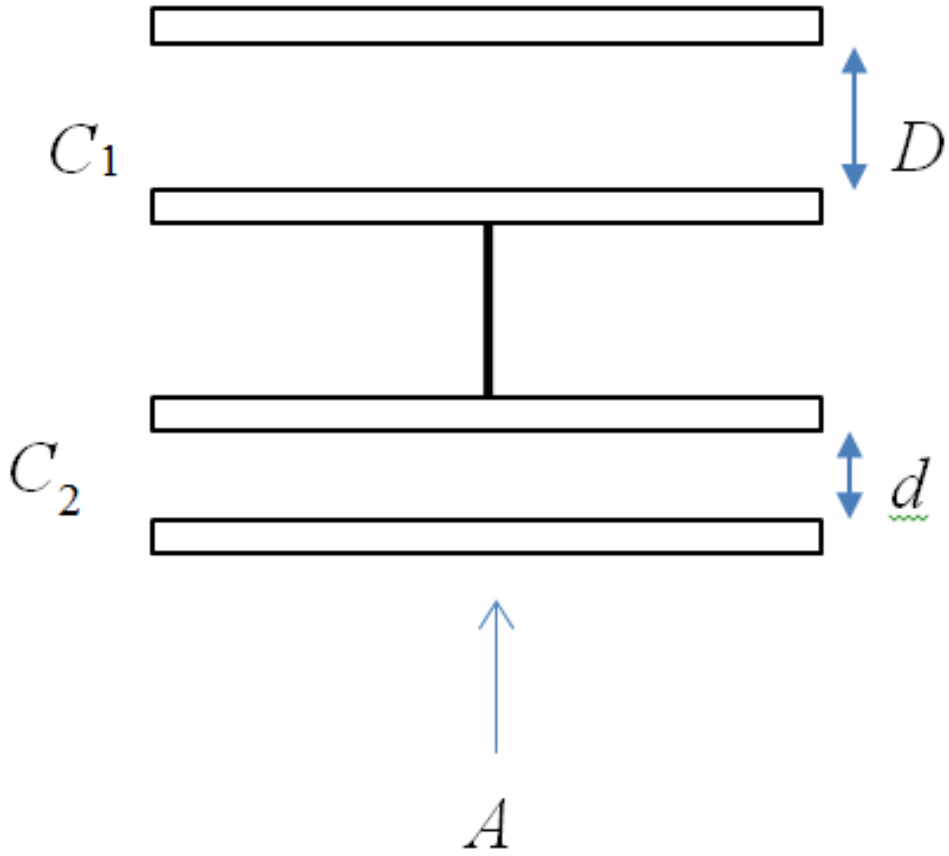
1. Dos capacitores de placas paralelas de área A y distancia entre las placas de d se colocan en serie como se muestra en la figura. Se coloca una carga $+Q$ en la placa superior del capacitor de arriba y una carga $-Q$ en la placa inferior del capacitor de abajo y posteriormente se **aíslan**.



a) ¿Cuánta carga se depos
cuánta carga en la placa

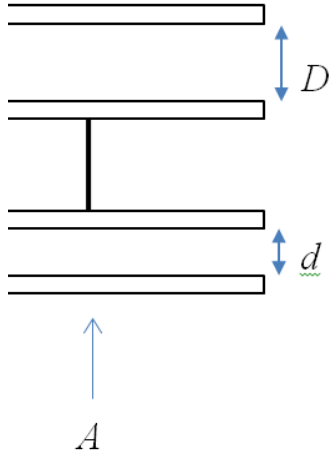
b) Calcula la diferencia de
cantidades dadas: Q, d

c) Calcula la energía de ca



Manteniendo el sistema **aislado**
de arriba como se muestra en la

as placas del capacitor



d) ¿Aumenta, disminuye
Explica.

e) ¿Aumenta, disminuye
cada capacitor? Explica

f) ¿Aumenta, disminuye o se mantiene igual la energía de cada capacitor? Explica.

¡MUCHAS GRACIAS!

genaro.zavala@itesm.mx